

**Sveučilište u Zagrebu,
Kineziološki fakultet**

**IVA MIŠAK
MATEJA ORLOVIĆ**

**USPOREDBA KINEMATIČKIH PARAMETARA SLALOM ZAVOJA NA
SKIJAŠKOM SIMULATORU, U SLOBODNOM SKIJANJU I U ZADANOM
KORIDORU**

Zagreb, 2019.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za sportske igre i Laboratoriju za medicinu sporta i vježbanja na Kineziološkom fakultetu pod vodstvom doc.dr.sc. Vjekoslava Cigrovskog i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2018/2019.

Skraćenice:

RL_ANKLE_F- kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u desnom zavoju

RR_ANKLE_F- kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u desnom zavoju

LL_ANKLE_F- kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u lijevom zavoju

LR_ANKLE_F- kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u lijevom zavoju

RL_KNEE_F - kut fleksije u koljenu lijeve noge u desnom zavoju

RR_KNEE_F - kut fleksije u koljenu desne noge u desnom zavoju

LL_KNEE_F - kut fleksije u koljenu lijeve noge u lijevom zavoju

LR_KNEE_F - kut fleksije u koljenu desne noge u lijevom zavoju

RL_HIP_F - kut fleksije u kuku lijeve noge u desnom zavoju

RR_HIP_F - kut fleksije u kuku desne noge u desnom zavoju

LL_HIP_F - kut fleksije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju

LR_HIP_F - kut fleksije u kuku desne noge u lijevom zavoju

RL_HIP_AB - kut abdukcije u kuku lijeve noge u desnom zavoju

RR_HIP_AB - kut abdukcije u kuku desne noge u desnom zavoju

LL_HIP_AB - kut abdukcije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju

LR_HIP_AB - kut abdukcije u kuku desne noge u lijevom zavoju

RCOM_L - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u desnom zavoju

RCOM_R - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u desnom zavoju

LCOM_L -udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u lijevom zavoju

LCOM_R - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u lijevom zavoju

Sadržaj rada:

<u>1. UVOD</u>	1
<u>2. CILJ RADA</u>	3
<u>3. MATERIJALI I METODE</u>	4
3.1. <u>ISPITANICI</u>	4
3.2. <u>VARIJABLE</u>	4
3.3. <u>PROTOKOL ISTRAŽIVANJA</u>	5
3.4. <u>METODE OBRADE PODATAKA</u>	8
<u>4. REZULTATI</u>	8
<u>5. RASPRAVA</u>	11
<u>6. ZAKLJUČAK</u>	15
<u>7. ZAHVALA</u>	15
<u>8. POPIS LITERATURE</u>	16
<u>9. SAŽETAK</u>	20
<u>10. SUMMARY</u>	21
<u>11. ŽIVOTOPISI</u>	22

1. Uvod

Zbog napretka u metodama treninga, razvoja i poboljšanja skijaške opreme te novih znanja iz područja skijaške tehnike, natjecanja u alpskome skijanju podignuta su na viši nivo, a skijaši neprestano poboljšavaju svoju skijašku izvedbu. Navedeni napredak počiva na znanstvenim analizama različitih čimbenika uključenih u uspjeh natjecatelja kao što su: razina razvijenosti motoričkih i funkcionalnih sposobnosti, tehnička i taktička utreniranost za pojedinu disciplinu alpskoga skijanja te mentalna pripremljenost (Sands, 2008; Supej i Holmberg, 2019). Navedeni čimbenici samo su neki od važnijih koji utječu na razliku u rezultatu alpskih skijaša u pojedinim disciplinama. Slalom je tehnička disciplina alpskoga skijanja. Natjecanje u disciplini slalom sastoji se od dvije utrke, a pobjednik je natjecatelj koji je ispravno prošao obje u najbržem vremenu (Hydren i sur., 2013). I tehnika i taktika podjednako su važne za uspjeh u disciplini slalom, a vrlo često o pobjedniku odlučuju djelići sekunde (Spörri i sur., 2012). U slalomu utrke obično traju 2x50-60 sekundi, a skijaši postavljena skijaška vrata prolaze brzinom od 40-60 km/h (Gilgien i sur., 2015). Tijekom izvođenja slalom zavoja skijaš mora zauzeti optimalni ravnotežni položaj, pronaći oslonac vanjske skije na snježnu podlogu i odabrati najbolju putanju kojom će izvesti zavoj (Hydren i sur., 2013; Cigrovski i Matković, 2015). Visoka razina skijaške tehnike omogućava izvođenje slalom zavoja bez razmišljanja o potrebnim skijaškim gibanjima, a pažnja je usmjerena na brzinu kretanja i odabir najkraće putanje prolaska između slalom vrata. Kako bi u tome uspio, natjecatelj mora pravovremeno inicirati početak izvođenja zavoja (Lešnik i Žvan, 2007; Hebert-Losier i sur., 2014).

Zbog zahtjevnosti koja proizlazi iz stalne potrebe za prilagodbom tehnike uvjetima na skijaškom terenu, nagibu samoga terena, postavljenoj stazi i kvaliteti snijega, iznimno su važne detaljne biomehaničke analize koje daju puno više podataka o budućem uspjehu od samog mjerenja brzine natjecatelja tijekom utrke (Federolf, 2012; Spörri et al., 2018).

Mjerenje elitnih alpskih skijaša u zavoju omogućuju kinematičku analizu, a rezultati mogu pomoći pri učenju i usavršavanju tehnike kod mladih natjecatelja (Schöllhorn i sur., 2009). Tradicionalno su se navedena mjerenja snimala kamerama, ali zbog dugotrajne analize, ograničenja u mogućnostima postavljanja kamera, povratne informacije su do natjecatelja često dolazile prekasno, a sama mjerenja bila su uz značajnu razinu pogreške. Dodatno, zbog ograničenja vezanog uz fiksno pozicioniranje same kamere/kamera, navedenim su se načinom mogli prikupiti kinematički podaci iz jednog, odnosno maksimalno nekoliko zavoja. Konfiguracija skijaškog terena ponekad je glavni čimbenik koji ograničava postavljanje

kamere, pa su u naknadnim rekonstrukcijama 3D podataka uočene pogreške i do 20 cm (Nachbauer i sur., 1996). Stoga se u novije vrijeme u kinematičkim analizama skijaškog zavoja za što precizniju analizu trajektorija sve više koristi GPS uređaj (Waegli i Skaloud, 2009; Gomez-Lopez i sur., 2009; Huber i sur., 2009).

Takva tehnologija podrazumijeva korištenje senzora koje natjecatelji nose na sebi prilikom alpskoga skijanja pomoću kojih se pokret detektira, a analizu rezultata moguće je učiniti odmah nakon mjerenja (Supej, 2009). Pomoću senzora moguće je inkorporirati podatke o 3D ubrzanjima, 3D orijentaciji, odnosno angularne brzine. Prvi korišteni senzori bili su konstruirani za uporabu na ravnoj podlozi, čime nisu bili idealni za istraživanja u alpskome skijanju, a zbog svoje veličine sputavali su i pokrete skijaša. Stoga su noviji senzori sinkronizirani s GPS uređajima (Vaverka i Vodickova, 2010). Navedena sinkronizacija doprinijela je točnosti mjerenja, pa primjerice Waegli i suradnici u svome radu objavljenom 2009. godine prikazuju rezultate korištenja senzora sinhroniziranog s GPS uređajem pozicioniranih na stražnjem dijelu skijaške cipele koji im je omogućio određivanje i mjerenje pozicije i brzine kretanja skija tijekom izvođenja zavoja s poboljšanom točnosti (na razini 0.4 m za poziciju skije, 0.2 m/s za brzinu, odnosno 2° za orijentaciju). U zadnje vrijeme se koriste poboljšane varijante senzora, a jedan takav sustav je i XSENS, čijoj analizi podataka ne prethodi dodatan postupak obrade. Izlazni podaci koje sustav daje odgovaraju vrijednostima izmjerenim prilikom testiranja, za razliku od prijašnjih sustava. Nakon mjerenja i odabira faze gibanja koja se želi analizirati potrebno je samo očitati kinematičke parametre te ih usporediti s referentnim vrijednostima. Osim toga korišteno kinematičko odijelo nudi mogućnost mjerenja gibanja i u trenutnom vremenu (Fasel i sur., 2016; Fasel i sur., 2017). Na taj način trener ima mogućnost zaustavljana snimke gibanja i očitavanje podataka za vrijeme treninga, tako da natjecatelj već u sljedećem ponavljanju slalom staze može korigirati uočene pogreške. Supej (2009) je u svom radu prikazao dodatnu točnost i preciznost podataka dobivenih korištenjem XSENS sustava u analizi zavoja u alpskome skijanju.

Za potrebe ovog istraživanja korišteno je opisano kinematičko odijelo u tri različite situacije: tijekom izvođenja slalom zavoja u slobodnom skijanju, slalom zavoja tijekom skijanja u postavljenom koridoru na skijaškom terenu te tijekom vježbanja na skijaškom simulatoru.

Prijašnja istraživanja utvrdila su kako se tijekom specifičnog kondicijskog treninga na skijaškom simulatoru aktiviraju mišići i ligamenti donjih ekstremiteta na sličan način kao i tijekom izvođenja zavoja na skijaškoj stazi (Nourrit-Lucas i sur., 2015; Moon i sur., 2015; Lee

i sur., 2016). Isto tako tijekom treninga na skijaškom simulatoru utječe se na razvoj motoričkih sposobnosti važnih za alpsko skijanje (Matković i sur., 2017). Skijaški simulator nudi razne mogućnosti kao što su korištenje skijaških štapova čime se još više podudara sa alpskogim skijanjem (Moon i sur., 2015). Zbog specifičnosti u aktivaciji mišićnih skupina, skijaški simulator može se koristiti i u preventivne svrhe, kako bi se kasnije, tijekom natjecanja u skijaškoj sezoni smanjio rizik od skijaških ozljeda (Turnbull i sur., 2009).

Mlađi alpski skijaši najčešće poboljšavaju skijašku tehniku tijekom samoga skijanja, pri čemu treneri analiziraju pojedine faze zavoja i trenutno nude prijedloge za eventualne korekcije. Ponekad se navedene analize rade i naknadno, na temelju snimljenih skijaških vožnji tijekom tzv. video analiza. Tako dobiveni savjeti uglavnom se temelje na iskustvu trenera i vrlo su subjektivni. Kako bi skijaši dobili objektivne, znanstveno utemeljene savjete, treneri bi trebali imati podatke o točnom položaju tijela skijaša u pojedinim fazama zavoja, a također bi trebali poznavati odnose između centra mase tijela te položaja unutarnje i vanjske skije u odnosu na zavoj. Dodatno, za što objektivniju analizu, potrebno je poznavati i kuteve između pojedinih dijelova tijela odnosno pokreta tijela u određenim fazama zavoja (Supej i sur., 2015).

Kinematička analiza skijanja nije jednostavan zadatak te predstavlja stalnu težnju u iznalaženju novih načina za dobivanje što točnijih i preciznijih podataka. Obzirom na osobitost alpskoga skijanja, 3D kinematika nezaobilazan je način kojim se može objediniti podatke o kretanju skijaša u svim ravninama. Do sada korišteni sustavi nisu nudili željenu preciznost bez da su dodatno opremom opterećivali skijaša. Tradicionalno korištene video analize daju malo podataka vezanih uz cijelu utrku u pojedinoj disciplini alpskoga skijanja, jer je do sada bilo moguće analizirati samo pojedini segment staze.

2. Cilj rada

Osnovna ideja ovoga istraživanja je objektivizirati položaje tijela tijekom slalom zavoja. Cilj je utvrditi razlike u promatranim kinematičkim parametrima tijekom izvođenja slalom zavoja u tri različite situacije s ciljem poboljšanja skijaške tehnike.

3. Materijali i metode

3.1. Ispitanici

Analiza parametara provedena je na 78 slalom zavoja u 3 različite situacije. Zavoje je izvodila ispitanica ženskog spola, starosti 25 godina (tjelesna visina – 164 cm, tjelesna težina - 57kg), državna demonstratorica i bivša natjecateljica u alpskome skijanju. Ispitanica je bila informirana o ciljevima studije i njenim detaljima te je pristala na sudjelovanje.

3.2. Varijable

Za potrebe ovog istraživanja promatrano je ukupno 20 varijabli za svaki pojedini slalom zavoj (lijevi i desni) izveden u 3 promatrane situacije. Slalom zavoji izvodili su se na skijaškom simulatoru, u slobodnom skijanju na skijaškoj stazi i tijekom vožnje u postavljenom koridoru. Ukupno je promatrano 78 zavoja (26 u svakoj situaciji, 13 lijevih i 13 desnih).

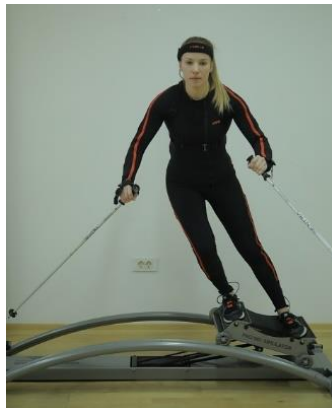
Kinematički parametri mjereni u ovom istraživanju uključivali su kutove u zglobovima donjih ekstremiteta (gležanj, koljeno, kuk,) u stupnjevima (°) te udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela od unutarnjeg i vanjskog stopala u odnosu na os rotacije zavoja, mjereno u centimetrima (cm).

Mjerene varijable su: kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u desnom zavoju (RL_ANKLE_F), kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u desnom zavoju (RR_ANKLE_F), kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u lijevom zavoju (LL_ANKLE_F), kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u lijevom zavoju (LR_ANKLE_F), kut fleksije u koljenu lijeve noge u desnom zavoju (RL_KNEE_F), kut fleksije u koljenu desne noge u desnom zavoju (RR_KNEE_F), kut fleksije u koljenu lijeve noge u lijevom zavoju (LL_KNEE_F), kut fleksije u koljenu desne noge u lijevom zavoju (LR_KNEE_F), kut fleksije u kuku lijeve noge u desnom zavoju (RL_HIP_F), kut fleksije u kuku desne noge u desnom zavoju (RR_HIP_F), kut fleksije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju (LL_HIP_F), kut fleksije u kuku desne noge u lijevom zavoju (LR_HIP_F), kut abdukcije u kuku lijeve noge u desnom zavoju (RL_HIP_AB), kut abdukcije u kuku desne noge u desnom zavoju (RR_HIP_AB), kut abdukcije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju (LL_HIP_AB), kut abdukcije u kuku desne noge u lijevom zavoju (LR_HIP_AB), udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u desnom zavoju (RCOM_L), udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u desnom zavoju (RCOM_R), udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u lijevom zavoju (LCOM_L), udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u lijevom zavoju (LCOM_R).

3.3. Protokol istraživanja

Kinematički parametri mjereni su kinematičkim odijelom MVN BIOMECH XSENS. Kinematičko odijelo radi na 240Hz, sastoji se od 17 bežičnih senzora pokreta i baterije te omogućuje analizu ljudskog pokreta u 3D prikazu u trenutnom vremenu. Nakon postavljanja na tijelo skijaša započinje standardizirana kalibracija sustava preporučena od strane proizvođača (Xsens Technologies B.V., Nizozemska).

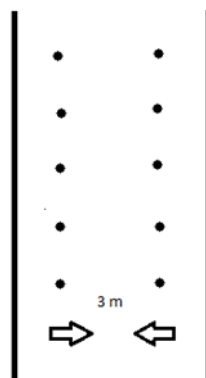
Ispitanica je izvodila slalom zavoje na PRO SKI SIMULATOR-u (slika 1.). Simulator nudi mogućnost namještanja opterećenja, odnosno otpora koji trenažer pruža ispitaniku. Odgovarajući otpor namješta se pomoću opruga tako što se dovoljan broj opruga pričvrsti na kolica na kojima stoji ispitanik. Opruge su smještene ispod pokretnih kolica na bazi trenažera. Kolica se lateralno pomiču na dvije vodilice. Šest je razina opterećenja koja odgovaraju težini ispitanika, a svaka opruga pokriva određeni interval težine ispitanika. U ovom slučaju korišten je otpor od 2 opruge što odgovara intervalu od 50-65kg. Ispitanica je imala 57 kg prije izvođenja mjerenja. Prije početka mjerenja na simulatoru ispitanica je dobila određene upute. Upute su glasile kako mora pokušati izvoditi slalom zavoj koji što više odgovara slalom zavoju na snijegu po trajanju i ritmu, te kako mora sadržavati iste faze kao zavoj na snijegu. Nakon oblačenja odijela i namještanja senzora pokreta, napravljena je kalibracija sustava nakon čega je započeto testiranje.



Slika 1. Ispitanica tijekom testiranja na skijaškom simulatoru (PRO SKI SIMULATOR).

Mjerenje kinematičkih parametara zavoja u slobodnom skijanju odvijalo se na istom dijelu padine kao i vožnja u postavljenom koridoru. Mjerenje se provodilo u jutarnjim satima zbog niže temperature zraka. Također, tada staza nije izložena suncu te su snježni uvjeti manje varijabilni.

Neposredno prije početka mjerenja, odrađena je kalibracija po ranije spomenutom protokolu. Prije izvođenja zavoja ispitanica je dobila upute o karakteristikama zavoja koje treba izvoditi. Zavoji su se izvodili u omeđenom koridoru širine 3 metra (slika 2.). Svaki zavoj morao je biti izveden od lijevog do desnog ruba koridora. Pri izvođenju zavoja ispitanica je morala izvoditi slalom zavoj isključivo po bočnim rubnicima skija (slika 3.). Za obradu podataka korišteni su parametri 26 zavoja koji ne uključuju prva 2 i posljednja 2 zavoja. Razlog tomu je određeno vrijeme koje je potrebno za uspostavljanje ritma i tempa koji odgovara karakteristikama dinamičkog slalom zavoja. Korištene skije i ostala skijaška oprema identična je kao i kod zavoja izvođenih u postavljenom koridoru.



Slika 2. Omeđen koridor u kojem je ispitanica izvodila slalom zavoj u slobodnom skijanju.

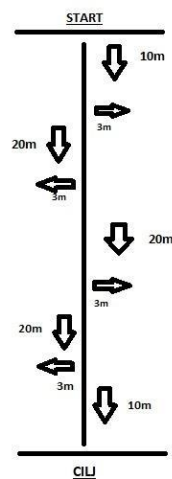


Slika 3. Izvođenje slalom zavoja na bočnim rubnicima skija u omeđenom koridoru.

Kao što je već spomenuto, mjerenje kinematičkih parametara zavoja u postavljenom koridoru izvedeno je na istom dijelu padine kao i u prethodnom mjerenju. Koridor je postavljen prema FIS pravilima koja propisuju dozvoljeni razmak između skijaških vrata. Od startnih do ciljnih vrata postavlja se pravocrtna linija koja odgovara najkraćem putu od brijega prema dolini (padna linija). Prva vrata u slalom koridoru nalaze se na udaljenosti 10 metara od starta i 1,5

metar u širinu od padne linije. Svaka iduća vrata nalaze se na udaljenosti 10 metara te također 1,5 metar udaljena od padne linije u lijevu i desnu stranu.

Postavljeni koridor (slika 4.) sastojao se isključivo od lijevog i desnog zavoja kako bi ritam i tempo odgovarali zavojima na simulatoru i u slobodnom skijanju. Ispitanica je morala izvoditi slalom zavoj između postavljenih vrata koji odgovara natjecateljskim uvjetima (slika 5.). Za obradu podataka korišteni su parametri 26 zavoja koji ne uključuju prva 2 i posljednja 2 zavoja iz već spomenutih razloga.



Slika 4. Prikaz postavljenog koridora za potrebe istraživanja.



Slika 5. Prikaz ispitanice za vrijeme izvođenja slalom zavoja u postavljenom koridoru.

3.4. Metode obrade podataka

Podaci su analizirani u statističkom programu „Statistica“ verzija 13.3. Izračunati su osnovni deskriptivni parametri za svih 20 varijabli. Za utvrđivanje razlika između slalom zavoja u tri opisane situacije korištena je multivarijatna analiza varijance (MANOVA), a za utvrđivanje razlika između grupa u svakoj varijabli zasebno Tukey post-hoc test. Rezultati su smatrani statistički značajnima pri razini pogreške $p < 0.05$.

4. Rezultati

U tablici 1. prikazani su rezultati MANOVA-e na temelju kojih je vidljiva razlika u slalom zavoju na skijaškom simulatoru, u slobodnoj vožnji i u postavljenom koridoru.

Tablica 1. Rezultati MANOVA-e za slalom zavoj u tri proučavane situacije izvođenja slalom zavoja.

	Test	Vrijednost lambde	F	p
kriterij	Wilks	0,000139	71,3	0,00*

Rezultati u tablici 1. ukazuju na statistički značajnu razliku između slalom zavoja u tri različite situacije ($F = 71,3$; $p = 0,00$).

U tablici 2. prikazani su osnovni deskriptivni statistički pokazatelji 20 promatranih varijabli slalom zavoja u tri situacije. Također, prikazani su rezultati univarijatne analize varijance temeljem koje je utvrđena statistički značajna razlika između svih 20 promatranih varijabli ($p = 0,00$), u sve 3 promatrane situacije.

Tablica 2. Osnovni deskriptivni statistički parametri i ANOVA za promatrane varijable slalom zavoja na simulatoru, u slobodnoj vožnji i u koridoru.

Varijable	Ski simulator AS±SD	Slobodna vožnja AS±SD	Koridor vožnja AS±SD	F	p
LR_KNEE_F	164,53±2,86	132,40±8,64	127,70±3,08	170	0,00
LR_ANKLE_F	84,79±0,64	68,80±4,72	66,91±3,67	104	0,00
LR_HIP_F	158,31±3,26	149,10±5,06	146,86±3,53	29	0,00
LR_HIP_AB	159,96±1,11	162,46±2,61	157,64±2,71	15	0,00
LCOM_R	33,72±1,08	60,21±1,51	68,15±2,30	1453	0,00
LL_KNEE_F	113,78±1,82	97,83±5,30	96,96±4,48	68	0,00
LL_ANKLE_F	61,54±0,94	76,19±3,14	77,54±2,05	205	0,00
LL_HIP_F	128,51±2,05	109,63±5,51	105,49±2,47	144	0,00
LL_HIP_AB	189,86±7,07	182,97±3,38	177,05±3,52	22	0,00
LCOM_L	7,63±3,24	25,27±2,20	29,69±3,58	188	0,00
RL_ANKLE_F	78,44±0,99	77,04±3,81	74,83±3,36	5	0,01
RL_HIP_F	154,06±2,74	146,68±4,52	144,96±3,91	21	0,00
RL_HIP_AB	153,38±1,51	163,96±2,33	165,54±2,71	114	0,00
RCOM_L	36,07±0,86	67,40±5,75	63,98±3,71	242	0,00
RR_KNEE_F	120,99±1,44	90,74±10,73	94,77±5,69	70	0,00
RR_ANKLE_F	67,57±1,32	71,60±2,66	72,67±2,18	21	0,00
RR_HIP_F	132,51±5,92	108,44±8,17	109,22±4,96	58	0,00
RR_HIP_AB	195,45±1,22	175,94±2,80	127,70±3,19	230	0,00
RCOM_R	10,28±1,02	34,98±4,36	66,91±2,91	288	0,00
RL_KNEE_F	153,44±2,29	142,24±6,79	146,86±6,16	31	0,00

RL_ANKLE_F - kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u desnom zavoju; *RR_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u desnom zavoju; *LL_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u lijevom zavoju; *RL_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu lijeve noge u desnom zavoju; *RR_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu desne noge u desnom zavoju; *LL_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu desne noge u lijevom zavoju; *RL_HIP_F* - kut fleksije u kuku lijeve noge u desnom zavoju; *RR_HIP_F* - kut fleksije u kuku desne noge u desnom zavoju; *LL_HIP_F* - kut fleksije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_HIP_F* - kut fleksije u kuku desne noge u lijevom zavoju; *RL_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku lijeve noge u desnom zavoju; *RR_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku desne noge u desnom zavoju; *LL_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku desne noge u lijevom zavoju; *RCOM_L* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u desnom zavoju; *RCOM_R* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u desnom zavoju; *LCOM_L* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u lijevom zavoju; *LCOM_R* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u lijevom zavoju

U tablici 3. prikazani su rezultati Tukey post-hoc testa za varijable u odabranim kutovima između segmenata tijela i udaljenostima projekcije centra težišta tijela u odnosu na stopalo vanjske noge na skijaškom simulatoru, u slobodnom skijanju i u postavljenom koridoru.

Tablica 3. Rezultati Tukey post-hoc test za sve promatrane varijable u tri različite situacije (1- skijaški simulator, 2- slobodno skijanje, 3- postavljeni koridor).

RL_KNEE_F				LR_KNEE_F			
grupa	1(153,44)	2(142,24)	3(136,90)	Grupa	1(164,53)	2(132,40)	3(127,70)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,04*	2	0,00*		0,09
3	0,00*	0,04*		3	0,00*	0,09	
RL_ANKLE_F				LR_ANKLE_F			
grupa	1(78,44)	2(77,04)	3(74,83)	Grupa	1(84,79)	2(68,80)	3(66,91)
1		0,46	0,01*	1		0,00*	0,00*
2	0,46		0,16	2	0,00*		0,36
3	0,01*	0,16		3	0,00*	0,36	
RL_HIP_F				LR_HIP_F			
grupa	1(154,06)	2(146,68)	3(144,96)	Grupa	1(158,31)	2(149,10)	3(146,86)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,49	2	0,00*		0,34
3	0,00*	0,49		3	0,00*	0,34	
RL_HIP_AB				LR_HIP_AB			
grupa	1(153,38)	2(163,96)	3(165,54)	Grupa	1(159,96)	2(162,46)	3(157,64)
1		0,00*	0,00*	1		0,02*	0,03*
2	0,00*		0,18	2	0,02*		0,00*
3	0,00*	0,18		3	0,03*	0,00*	
RCOM_L				LCOM_R			
grupa	1(36,07)	2(67,40)	3(63,98)	Grupa	1(33,72)	2(60,21)	3(68,15)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,09	2	0,00*		0,00*
3	0,00*	0,09		3	0,00*	0,00*	
RR_KNEE_F				LL_KNEE_F			
grupa	1(120,99)	2(90,74)	3(94,77)	Grupa	1(113,78)	2(97,83)	3(96,96)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,32	2	0,00*		0,86
3	0,00*	0,32		3	0,00*	0,86	
RR_ANKLE_F				LL_ANKLE_F			
grupa	1(120,99)	2(71,60)	3(72,67)	Grupa	1(61,54)	2(76,19)	3(77,54)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,41	2	0,00*		0,28
3	0,00*	0,41		3	0,00*	0,28	
RR_HIP_F				LL_HIP_F			
grupa	1(132,51)	2(108,44)	3(109,22)	Grupa	1(128,51)	2(109,63)	3(105,49)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,95	2	0,00*		0,02*
3	0,00*	0,95		3	0,00*	0,02*	
RR_HIP_AB				LL_HIP_AB			
grupa	1(195,45)	2(175,94)	3(177,96)	Grupa	1(189,86)	2(182,97)	3(177,05)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,12	2	0,00*		0,01*
3	0,00*	0,12		3	0,00*	0,01*	
RCOM_R				LCOM_L			
grupa	1(10,28)	2(34,98)	3(34,98)	Grupa	1(7,63)	2(25,27)	3(29,69)
1		0,00*	0,00*	1		0,00*	0,00*
2	0,00*		0,77	2	0,00*		0,00*
3	0,00*	0,77		3	0,00*	0,00*	

RL_ANKLE_F - kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u desnom zavoju; *RR_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u desnom zavoju; *LL_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_ANKLE_F* - kut fleksije u zglobu gležnja desne noge u lijevom zavoju; *RL_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu lijeve noge u desnom zavoju; *RR_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu desne noge u desnom zavoju; *LL_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_KNEE_F* - kut fleksije u koljenu desne noge u lijevom zavoju; *RL_HIP_F* - kut fleksije u kuku lijeve noge u desnom zavoju; *RR_HIP_F* - kut fleksije u kuku desne noge u desnom zavoju; *LL_HIP_F* - kut fleksije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_HIP_F* - kut fleksije u kuku desne noge u lijevom zavoju; *RL_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku lijeve noge u desnom zavoju; *RR_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku desne noge u desnom zavoju; *LL_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku lijeve noge u lijevom zavoju; *LR_HIP_AB* - kut abdukcije u kuku desne noge u lijevom zavoju; *RCOM_L* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u desnom zavoju; *RCOM_R* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u desnom zavoju; *LCOM_L* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na lijevo stopalo u lijevom zavoju; *LCOM_R* - udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u odnosu na desno stopalo u lijevom zavoju; * -nivo značajnosti $p < 0.05$

Analiza rezultata pokazuje kako se slalom zavoj na skijaškom simulatoru statistički značajno razlikuje od slobodnog skijanja i skijanja u postavljenom koridoru u kinematičkim parametrima u svim promatranim varijablama ($p=0,00$). Također, primjetne su statistički značajne razlike u vrijednostima određenih varijabli između slobodnog skijanja i skijanja u postavljenom koridoru (*LR_HIP_AB*, $p=0,00$; *LCOM_R*, $p=0,00$; *LL_HIP_F*, $p=0,02$; *LL_HIP_AB*, $p=0,01$; *LCOM_L*, $p=0,00$; *RL_KNEE_F*, $p=0,04$).

5. Rasprava

U alpskome skijanju vrlo često su tehnički elementi i taktički odabir linije izvođenja zavoja intuitivan odabir natjecatelja i njihovih trenera. S visokorazvijenom skijaškom opremom te razinom tehnike izvođenja zavoja koju koriste alpski skijaši seniorske dobi, razlike među njima su gotovo nevidljive, odnosno o redosljedu na natjecanju odlučuju stotinke sekundi. Stoga je naglasak današnjih istraživanja u području alpskoga skijanja na poboljšanju skijaške tehnike natjecatelja te odabiru najbolje putanje izvođenja zavoja. Do sada su se koristile uglavnom 3D kinematičke analize ili analiza simulacije skijaškog zavoja na skijaškim simulatorima, što je imalo brojna ograničenja (Fasel i sur., 2017). U ovom istraživanju analiziran je slalom zavoj u tri situacije; na skijaškom simulatoru, tijekom slobodnog skijanja te na postavljenoj skijaškoj stazi koristeći kinematičko odijelo, s integriranim sensorima pokreta. Važno je naglasiti kako su u sve tri situacije slalom zavoja analizirane varijable uvijek u istoj poziciji zavoja, kada je ispitanica bila paralelna sa skijaškom padinom. Navedena pozicija označava trenutak u kojem su skije najudaljenije od projekcije centra mase tijela te predstavlja centralni položaj zavoja (Supej i sur., 2018). Na skijaškom simulatoru to je pozicija u kojoj su stopala najudaljenija od projekcije mase tijela. Prema našim saznanjima, ovo je prvo takvo istraživanje sa XSSENS odijelom kojim smo uspjeli snimiti tijekom cijele slalom vožnje u predefiniranom koridoru, te na

istom terenu postavljenoj skijaškoj stazi, a preciznost i cjelovitost snimke značajno pridonosi pouzdanosti rezultata. Dodatno, XSENS u svom sadašnjem obliku ne remeti pokrete sportaša i predstavlja neinvazivni način prikupljanja podataka. Osim mogućnosti preciznog mjerenja kutova i odnosa segmenata tijela tijekom izvođenja slalom zavoja, prednost korištenja ovog sustava za mjerenje kinematičkih parametara je kratko vrijeme potrebno za analizu prikupljenih podataka te mogućnost brzog transfera podataka na sam skijaški teren (Fasel i sur., 2017; Heikenfeld i sur., 2018).

Rezultati pokazuju kako se slalom zavoj na skijaškom simulatoru po kinematičkim parametrima statistički značajno razlikuje od slalom zavoja u slobodnom skijanju i slalom zavoja tijekom skijanja u postavljenom koridoru. S aspekta skijaške tehnike važno je istaknuti razlike u vrijednostima varijabli udaljenosti projekcija općeg centra težišta u odnosu na unutarnju, a posebnu vanjsku nogu. Kod tehnički ispravno izvedenog slalom zavoja izuzetno je važan oslonac na vanjsku nogu u odnosu na os rotacije zavoja (Ferguson, 2009). To podrazumijeva da je vanjska noga maksimalno udaljena od projekcije općeg centra težišta tijela (Reid i sur., 2009). Prosječna udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela od vanjskog stopala je bila kraća za 30.7 cm tijekom izvođenja desnog zavoja na skijaškom simulatoru, odnosno 26.49 cm tijekom izvođenja lijevog zavoja u odnosu na iste udaljenosti tijekom slobodnog skijanja. Slične razlike u navedenim varijablama zabilježene su i usporedbom skijanja na skijaškom stimulatoru i u predefiniranom koridoru (desni zavoj=34.43 cm, lijevi zavoj 27.91 cm). Navedeno se može objasniti konstrukcijskim karakteristikama skijaškog stimulatora, koje ograničavaju pojedine pokrete tijela. Tijekom izvođenja slalom zavoja na skijaškom simulatoru skijaševa gibanja su ograničena zbog karakteristika same sprave te je to razlog zbog kojeg je projekcija općeg centra težišta bliža stopalu vanjske, ali i unutarnje noge u odnosu na zavoj izveden na skijaškom terenu (Moon i sur., 2015). Prosječna udaljenost projekcije općeg centra težišta od vanjskog stopala na skijaškom simulatoru u našem istraživanju iznosila je $LCOM_R=33,72$; $RCOM_L=36,07$. U slobodnom skijanju vrijednosti istih varijabli bile su značajno veće ($LCOM_R=60,21$; $RCOM_L=67,40$), kao i kod skijanja u postavljenom koridoru ($LCOM_R=68,15$; $RCOM_L=63,98$). Slični rezultati objavljeni su i u studiji od Mani i suradnika, a autori ih objašnjavaju promjenama u aktivaciji posturalnih mišića koje nastaju iz potrebe za naglim promjenama smjera zbog osobitosti i zahtjevnosti skijaškog terena (Mani, sur., 2014). Panizzolo i suradnici (2013) također navode razlike između simulatora i skijanja na terenu vezane uz opremu i različite metode treninga. Također, rezultati su pokazali značajne razlike u kutu abdukcije kuka desne noge tijekom izvođenja lijevog zavoja i lijeve noge tijekom izvođenja desnog zavoja u sva tri mjerenja. Najmanji kut zabilježen je tijekom izvođenja zavoja

na simulatoru ($153,38^\circ$, $159,96^\circ$), što sugerira defleksije na simulatoru koje imitiraju stvarni slalom zavoj i podupire rezultate dosadašnjih istraživanja prema kojima se simulator može koristiti u kondicijskom treningu alpskoga skijanja (Gilgien i sur., 2014; Matković i sur., 2017). Dobiveni rezultati ukazuju i na međusobne razlike u kinematičkim parametrima zavoja izvedenog u slobodnom skijanju i u postavljenom koridoru (LR_HIP_AB, $p=0,00$; LCOM_R, $p=0,00$; LL_HIP_F, $p=0,02$; LL_HIP_AB, $p=0,01$; LCOM_L, $p=0,00$; RL_KNEE_F, $p=0,04$). Posebno valja istaknuti razlike u varijabli kuta abdukcije desne noge u lijevom zavoju (slobodno skijanje- LR_HIP_AB=162,46; postavljeni koridor- LR_HIP_AB=157,64) i udaljenost projekcije općeg centra težišta tijela u lijevom zavoju u odnosu na desno stopalo (slobodno skijanje-LCOM_R=60,21; postavljeni koridor-LCOM_R=68,15). Kao što je već spomenuto, oslonac na vanjsku nogu je ključan za učinkovito izvođenje zavoja (Nourrit-Lucas, 2015).

Iako je ispitanica bila poticana da skija istim ritmom i tempom u slobodnom skijanju kao i u predefiniranom koridoru, evidentno je da je izvođenje slalom zavoja prilagođavala uvjetima na terenu, ovisno o fazi zavoja, brzini i nagibu staze, a kako bi postigla optimalni ravnotežni položaj. Iz perspektive skijanja u predefiniranom koridoru, skijaš se mora prilagođavati skijaškim vratima, koja zadaju ritam i tempo skijanja. Iznimno je bitno da skijaš prilagodi svoj položaj tijekom pojedinih faza zavoja kako bi pronašao optimalan trenutak za izvođenje zavoja. U postavljenom koridoru opterećenje na vanjsku skiju je veće zbog nametnutog ritma, dužine zavoja i zahtjevnosti postavljenog koridora te je samim time veći i stupanj otklona tijela. U slobodnom pak skijanju skijaš može prilagoditi svoj ritam i poziciju tijela ovisno o uvjetima na skijaškoj stazi (Kipp i sur., 2010). U prilog tome ide i rezultat u varijabli udaljenosti projekcije općeg centra težišta u odnosu na vanjsku nogu koja je veća u postavljenom koridoru u odnosu na slobodno skijanje.

Slalom je tehnički zahtjevna disciplina te se uči po metodičkom slijedu. Za kvalitetnu natjecateljsku izvedbu vrlo je važna tehnika izvođenja zavoja i potrebno je staviti naglasak na njeno pravilno usvajanje (Antekolović i sur., 2015). Da bi zavoj bio tehnički pravilan i maksimalno učinkovit, moraju biti zadovoljeni određeni odnosi između segmenata tijela (Hraski i Hraski, 2009). Skijaš tijekom izvođenja skijaškog zavoja nastoji odvojiti gibanja u gornjem i donjem dijelu tijela (Loland, 2009). Gibanja u donjem dijelu tijela sinkronizirano se odvijaju u nekoliko ravnina; ukoliko su gibanja pravovremena i harmonična skijaški je zavoj kvalitetniji. Donji dio tijela direktno utječe na izvedbu zavoja, dok gornji dio tijela pomaže u izvođenju zavoja u smislu postizanja i održavanja idealnog ravnotežnog položaja tijekom cijelog zavoja (Hydren i sur., 2013).

Ukoliko skijaš napravi pogrešku i naruši idealnu putanju izvođenja zavoja, izgubi ritam, naruši središnji skijaški položaj ili dinamičku ravnotežu, koristit će gornji dio tijela kako bi ispravio navedene pogreške. Kada to ne uspije isključivo gornjim segmentima tijela, mora uključiti i donje, ali pri tome gubi idealnu putanju, ritam i konačno brzinu (Hebert-Losier i sur., 2014).

Skijaški simulator natjecatelji u alpskome skijanju koriste izvan skijaške sezone kao dopunski sadržaj s ciljem razvoja ili održavanja funkcionalnih sposobnosti (Lee i sur., 2016). Naši rezultati naglašavaju važnost izbjegavanja skijaškog simulatora u svrhu usvajanja ili unaprjeđenja tehnike slalom zavoja. Utvrđeni kinematički parametri na skijaškoj stazi i na skijaškom simulatoru jasno ukazuju na postojanje značajnih razlika u položaju donjih ekstremiteta za koje je već spomenuto da neposredno utječu na situacijsku učinkovitost i tehničku izvedbu zavoja.

S druge strane, na skijaškom simulatoru se mogu razvijati specifične sposobnosti koje su najbližnje uvjetima na skijaškoj stazi. Primjerice, to se odnosi na razvoj funkcionalnih (anaerobnih) i motoričkih sposobnosti (dinamička ravnoteža, koordinacija i snaga) te na ekscentričnu aktivaciju mišića donjih ekstremiteta koja je dominantna tijekom izvođenja zavoja (Hoppeler i Vogt, 2009). Zbog sličnosti u aktivaciji mišićnih skupina, skijaški simulator može se koristiti i u preventivne svrhe, kako bi se kasnije, tijekom natjecanja u skijaškoj sezoni rizik od ozljeđivanja sveo na minimum (Turnbull i sur., 2009).

6. Zaključak

Definiranje kinematičkih parametara u pojedinoj skijaškoj disciplini kod vrhunskih alpskih skijaša pomaže učinkovitijem usvajanju i usavršavanju skijaške tehnike kod perspektivnih alpskih skijaša. Utvrđivanjem modalnih vrijednosti izvedbe zavoja te minimiziranjem subjektivne procjene trenera, trenažni bi se proces mogao usmjeriti prema optimalnom načinu izvođenja zavoja. Na osnovu primijenjene tehnologije ovog istraživanja moguće je sugerirati trenerima i njihovim stručnim timovima kako je na brz i efikasan način moguće ispraviti određene nedostatke u odnosima između segmenata tijela. Također, važno je spomenuti i određene limitirajuće faktore ove studije. Iako ispitanica tijekom ove pilot studije nije iskazala nelagodu tijekom nošenja odijela, ono ipak nije u potpunosti neinvazivno zbog senzora pričvršćenih na tijelo. Zaključno, u ponovljenim istraživanjima bilo bi metodološki opravdano povećati uzorak ispitanika s ciljem komparacije dobivenih rezultata i veće snage zaključivanja.

7. Zahvala

Prvenstveno se zahvaljujemo mentoru doc.dr.sc. Vjekoslavu Cigrovskom na uloženom trudu. Hvala i voditeljima Laboratorija za sportske igre prof.dr.sc. Damiru Knjazu i doc.dr.sc. Tomislavu Rupčiću te prof.dr.sc. Branki Matković i prof.dr.sc. Lani Ružić na ustupljenoj opremi. I na kraju, velika hvala kolegama Ivanu, Mateji, Vedranu i Stipi na pomoći pri mjerenju i analizi prikupljenih podataka.

8. Popis literature

1. Antekolović, Lj., Cigrovski, V., Horgas, A. (2015). Some biomechanical characteristics of slalom turn during race of elite alpine skiers. In: 10th International conference on kinanthropology. (Eds Zvonar M, Sajdlová Z) pp.456-461. Brno: Masaryk University, Faculty of sport studies.
2. Cigrovski, V., Matković, B. (2015). Skijaška tehnika carving. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet.
3. Fasel, B., Spörri, J., Gilgien, M., Boffi, G., Chardonens, J., Müller, E., Aminian, K. (2016). Three-dimensional body and centre of mass kinematics in alpine ski racing using differential GNSS and inertial sensors. *Remote Sensing*, 8, 671.
4. Fasel, B., Spörri, J., Schütz, P., Lorenzetti, S., Aminian, K. (2017). An inertial sensor-based method for estimating the athlete's relative joint center positions and center of mass kinematics in alpine ski racing. *Frontiers in Physiology*, 8, 850.
5. Federolf, P.A. (2012). Quantifying instantaneous performance in alpine ski racing. *Journal of Sports Science*, 30, 1063–1068.
6. Ferguson, R.A. (2009). Limitations to performance during alpine skiing. *Experimental Physiology*, 95(3), 404-410.
7. Gilgien, M., Spörri, J., Kröll, J., Crivelli, P., and Müller, E. (2014). Mechanics of turning and jumping and skier speed are associated with injury risk in men's world cup alpine skiing: a comparison between the competition disciplines. *British Journal of Sports Medicine*, 48, 742–747.
8. Gilgien, M., Crivelli, P., Spörri, J., Kröll, J., Müller, E. (2015). Characterization of course and terrain and their effect on skier speed in world cup alpine ski racing, *Plos One* 10(5), e0128899.
9. Gomez-Lopez, P.J., Hernan, O., Ramirez, J.V. (2009). Analysis of skiers' performance using GPS. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 207-215. London: Meyer & Meyer Sport.
10. Hebert-Losier, K., Supej, M., Holmberg, H-C. (2014). Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Journal of Sports Medicine*, 44, 519-533.
11. Heikenfeld, J., Jajack, A., Rogers, J., Gutruf, P., Tian, L., Pan, T., Li, R., Khine, M., Kim, J., Wang, J., Kime, J. (2018). Wearable sensors: modalities, challenges, and prospects. *Lab on a Chip*, 18, 217–248.

12. Hoppeler, H., Vogt, M. (2009). Eccentric exercise in alpine skiing. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 33-42. London: Meyer & Meyer Sport.
13. Hraski, Z., Hraski, M. (2009). Influence of the skiers body geometry on the duration of the giant slalom turn. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 252-259. London: Meyer & Meyer Sport.
14. Huber, A., Waibel, K.-H., Spitzenpfeil, P. (2009). Description of racecourses and estimation of ground reaction forces by GPS-Data and video. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 260-271. London: Meyer & Meyer Sport.
15. Hydren, R., Volek, J. S., Maresh, C. M., Comstock, B. A., Kraemer, W. J. (2013). Review of strength and conditioning for alpine ski racing. *Strength and Conditioning Journal*, 35, 10-28.
16. Kipp, R., Reid, R., Gilgien, M., Haugen, P., Smith, G. (2010). Relative contributions of leg angles to ski edging during a slalom ski turn. In: Book of Abstracts 5th international congress on Science and skiing. (Eds Müller E, Lindinger S, Stoggl T, Pfusterschmied J), p. 129. Salzburg: University of Salzburg.
17. Lee, H. T., Roh, H. L., Kim, Y. S. (2016). Cardiorespiratory endurance evaluation using heart rate analysis during ski simulator exercise and the Harvard step test in elementary school students. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(2), 641-645.
18. Lešnik, B., Žvan, M. (2007). The best slalom competitors-kinematic analysis of tracks and velocities. *Kinesiology*, 39(1), 40-48.
19. Loland, S. (2009). Alpine skiing technique – practical knowledge and scientific analysis. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 43-58. London: Meyer & Meyer Sport.
20. Mani, H., Izumi, T., Konishi, T., Samukawa, M., Yamamoto, K., Watanabe, K., Asaka, T. (2014). Characteristics of postural muscle activation patterns induced by unexpected surface perturbations in elite ski jumpers. *Journal of Physical Therapy Science*, 26, 833-839.
21. Matković, B., Bon, I., Dukarić, V., Rupčić, T., Cigrovski, V. (2017). Angle values as kinematic parameters for describing movement on ski simulator. In: Book of Abstracts 11th International conference on kinanthropology. (Eds. M. Zvonař, Z. Sajdllová) pp. 17. Brno: Masaryk University, Faculty of sport studies.

22. Moon, J., Koo, D., Kim, K., Shin, I., Kim, H., Kim, J. (2015). Effect of ski simulator training on kinematic and muscle activation of the lower extremities. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(8), 2629-2632.
23. Nachbauer, W., Kaps, P., Nigg, B., Brunner, F., Lutz, A., Obkircher, G., Mössner, M. (1996). A video technique for obtaining 3-D coordinates in alpine skiing, *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 104-115.
24. Nourrit-Lucas, D., Tossa, A.O., Zélic, G., Delignières, D. (2015). Learning, motor skill, and long-range correlations. *Journal of Motor Behavior*, 28(2), 641-645.
25. Panizzolo, F.A., Marcolin, G., Petrone, N. (2013). Comparative evaluation of two skiing simulators as functional training devices for recreational skiers. *Journal of Sports Sciences and Medicine*, 12(1):151-158.
26. Reid, R., Gilgien, M., Moger, T., Tjorhom, H., Haugen, P., Kipp, R., Smith, G. (2009). Turn characteristics and energy dissipation in slalom. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 419-429. London: Meyer & Meyer Sport.
27. Sands, W.A., (2008). Measurement issues with elite athletes. *Sports Technology*, 1(2-3), 101-104.
28. Schöllhorn, W. I., Hurth, P., Kortmann, T., Müller, E. (2009). Biomechanical basic for differential learning in alpine skiing. In: 4th international congress on Science and skiing. (Eds Muller E, Lindinger S, Stoggl T) pp. 455-464. London: Meyer & Meyer Sport.
29. Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Müller, E. (2012). Turn characteristics of top world class athlete in giant slalom: a case study assessing current performance prediction concept. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(4), 647-659.
30. Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Müller, E. (2018). The role of path length and speed-related factors for the enhancement of section performance in alpine giant slalom. *European Journal of Sport Science*, 18, 911–919.
31. Supej, M., Hebert-Losier, K., Holmberg, H. C. (2015). Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of World cup slalom skiers. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 10, 361-368.
32. Supej, M. (2009). A step forward in 3D measurements in alpine skiing: a combination of an inertial suit and DGPS technology. In: E. Müller, S. Lindinger, T. Stoggl (Eds.), 4th international congress on Science and skiing IV (pg. 497-503). London: Meyer & Meyer Sport.

33. Supej, M., Holmberg, H.-C. (2019). Recent kinematic and kinetic advances in olympic alpine skiing: Pyeongchang and beyond. *Frontiers in Physiology*, 10, 111.
34. Turnbull, J. R., Kilding, A. E., Keogh, J. W. L. (2009). Physiology of alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19, 146-155.
35. Vaverka, F., Vodickova, S. (2010). Laterality of the lower limbs and carving turn. *Biology of Sport*, 27, 129–134.
36. Waegli, A., Skaloud, J. (2009). Optimization of two GPS/MEMS-IMU integration strategies with application to sports. *GPS Solutions*, 13(4), 315–326.

9. Sažetak

Tradicionalno korištene metode za kinematičku analizu alpskoga skijanja imale su ograničenja vezana uz način prikupljanja i obrade podataka. Također analiza izmjerenih parametara, njihova interpretacija i implementacija u praksu bile su vrlo dugotrajne. Stoga je cilj ovoga rada uz primjenu relativno novije tehnologije, koja omogućava vrlo brzo prikupljanje podataka i njihovu analizu, utvrditi razlike u slalom zavoju izvedenom u 3 različite situacije. Analizirano je 20 varijabli za svaki pojedini slalom zavoj (lijevi i desni), 26 zavoja u svakoj situaciji. Sve zavoje izvodila je demonstratorica skijanja. Multivarijatom analizom varijance utvrđena je značajna razlika između zavoja izvedenim u svim promatranim situacijama ($F=71,3$; $p=0,00$). Tukey post-hoc testom utvrđeno je da se zavoji izvođeni na skijaškom simulatoru razlikuju u svim varijablama od ostale 2 situacije, a slobodno skijanje od postavljenog koridora u sljedećim: (LR_HIP_AB, $p=0,00$; LCOM_R, $p=0,00$; LL_HIP_F, $p=0,02$; LL_HIP_AB, $p=0,01$; LCOM_L, $p=0,00$; RL_KNEE_F, $p=0,04$). Korištenjem navedene tehnologije moguće je vrlo učinkovito koristiti znanstvene spoznaje u praksi na skijaškom terenu. Navedeno se odnosi na mlade sportaše, a i seniore u smislu ukazivanja na tehničke nedostatke temeljem objektivno utvrđenih modalnih vrijednosti. Samim time subjektivne procjene svode se na minimum, a izmjereni objektivni podaci se koriste u trenažnom procesu. Metodologija istraživanja i tehnologija korištena u ovome radu mogu doprinijeti novim spoznajama i smjerovima istraživanja u području biomehaničke analize u vrhunskom sportu.

Ključne riječi: *alpsko skijanje, kinematička analiza, kinematičko odijelo, modalne vrijednosti, skijaški simulator*

10. Summary

Traditionally used methods for kinematic analysis of alpine skiing had limitations regarding data collecting and data processing. Also analysis of measured parameters, interpretation and implementation in practice were long-term. Therefore aim of this paper is to determine differences of slalom turn between 3 situations by using this relatively new technology that allows fast data collecting and analysis. 20 variables were analyzed for each turn (left and right), 26 turns in each situation. All turns were made by national skiing demonstrator. Differences between slalom turns in observing situations were determined by using MANOVA ($F=71,3$; $p=0,00$). Using Tukey post-hoc test it was determined that turns made on simulator differs in every variable regarding 2 remaining situations and free skiing differs from corridor turns in following variables: (LR_HIP_AB, $p=0,00$; LCOM_R, $p=0,00$; LL_HIP_F, $p=0,02$; LL_HIP_AB, $p=0,01$; LCOM_L, $p=0,00$; RL_KNEE_F, $p=0,04$). Scientific knowledge is possible to use very efficiently on actual ski slope by using this technology. This concerns young athletes and also senior in terms of pointing out technical flaws based on objectively determined modal values. Itself subjective evaluation is reduced on minimum and measured data are used in training process. Methodology of research and technology used in this paper could contribute new scientific approaches in biomechanical research of top level sport.

Key words: alpine skiing, kinematic analysis, kinematic suit, model values, ski simulator

11. Životopisi

Iva Mišak rođena je 16.03.1993. godine u Varaždinu. Nakon završene sportske karijere upisuje Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, gdje je zbog svog zalaganja treću godinu za redom dobitnica stipendije za izvrsnost.

U svojoj skijaškoj karijeri zabilježila je tri nastupa na Svjetskim prvenstvima 2011., 2013., 2015. godine, kao i nastup na Svjetskom skijaškom kupu u Zagrebu (Snow Queen Trophy).

Nakon završene skijaške karijere posvećuje se stručnom usavršavanju te završava tečaj za učitelja, a zatim i demonstratora alpskoga skijanja. Svoje znanje i bogato iskustvo iz natjecateljskog sporta već nekoliko godina prenosi mlađim generacijama alpskih skijaša.

Kao studentica sudjeluje u radu Laboratorija za sportske igre pri Kineziološkom fakultetu na skijaškim projektima, gdje radi kao mjerioci te prikuplja podatke sa testiranja.

Mateja Orlović rođena je 24.08.1992. u Zagrebu. Nakon završenog srednjoškolskog obrazovanja u VII. gimnaziji u Zagrebu u akademskoj godini 2011./2012. upisuje Pravni fakultet u Zagrebu. Profesionalno se bavi rukometom, sudjelujući u 1. hrvatskoj rukometnoj ligi, te je u svojoj karijeri bila članica kadetske i juniorske ženske rukometne reprezentacije Hrvatske. Posebno rektorovo priznanje za iznimna sportska postignuća na Europskim sveučilišnim igrama Zagreb-Rijeka 2016., dobila je kao članica ženske rukometne ekipe Sveučilišta u Zagrebu. Kineziološki fakultet u Zagrebu upisuje u akademskoj godini 2015./2016., zauzevši prvo mjesto na razredbenom ispitu, te je već četvrtu godinu dobitnica stipendije za izvrsnost.